

# Beiträge zur morphometrischen und morphologischen Schotteranalyse

Poser, Hans  
Hövermann, Jürgen

Veröffentlicht in:  
Abhandlungen der Braunschweigischen  
Wissenschaftlichen Gesellschaft Band 4, 1952, S. 12-36



Friedr. Vieweg & Sohn, Braunschweig

# Beiträge zur morphometrischen und morphologischen Schotteranalyse

Von **Hans Poser** und **Jürgen Hövermann**

Mit 6 Abbildungen

*Résumé: La publication continue les études des auteurs sur la morphométrie des galets du point de vue de la morphologie climatique. L'article communique des critiques à l'indice d'applatissement et à l'indice d'émoussé (d'après A. Cailleux); il rend les résultats des recherches aux galets (indice d'émoussé) des masses accumulatives périglaciaires, morainiques et fluviales et discute leur importance pour la morphologie climatique.*

## Inhaltsübersicht:

### Einleitung

- I. Die Grundlagen der morphometrischen Schotteranalyse
  1. Die Indizes, ihre Messung, Berechnung und Darstellung
  2. Kritische Betrachtungen zur Definition der Indizes
    - a) Der Zurundungs-Index
    - b) Der Abplattungs-Index, Platttheit und Schlankheit von Schottern
- II. Die Zurundung von Schottern verschiedener Medien
  1. Messungen in solifluidalen Ablagerungen
  2. Messungen in moränischen Ablagerungen
  3. Messungen in Ablagerungen fließenden Wassers

Schluß: Anwendungsmöglichkeiten in der Geomorphologie

Zusammenfassung.

## Einleitung

Von den in der letzten Zeit vorgetragenen Versuchen, die Form und Formenentwicklung von Schottern mit exakten Methoden zu erfassen, hat die von A. Cailleux<sup>6) 7) 8) 9)</sup> vorgeschlagene, von ihm als Morphoskopie, von uns als morphometrische Schotteranalyse bezeichnete Methode wegen ihrer leichten Anwendbarkeit im Gelände die Aufmerksamkeit in besonderem Maße auf sich gelenkt. Sie ist namentlich von französischen Forschern zur Untersuchung der Gestalt von Schottern verschiedenen Milieus verwandt worden. Die Ergebnisse, die dabei erzielt wurden, lassen die Methode nicht nur für die sedimentologische und geologische Forschung, sondern auch für die Geomorphologie als bedeutsames Hilfsmittel erscheinen. Neuartig in der Entwicklung und Anwendung steht sie aber durchaus noch in der Phase der Erprobung und Bewährung, so daß auch die Möglichkeiten und Grenzen ihrer Aussagekraft noch nicht voll zu übersehen sind.

Wir selbst wandten einen Teil dieser Methode zuerst auf das Problem der pleistozänen Harz-Vergletscherung<sup>11)</sup> an und bedienten uns ihrer auch hernach bei weiteren klimatisch-morphologischen Untersuchungen in den deutschen Mittelgebirgen und den Alpen. Gleichzeitig ist auch in Deutschland der Kreis derer, die sich mit dieser neuen Methode befassen, größer geworden. Wir halten es daher für zweckmäßig, unsere bisher auf 68 Meßstellen basie-

renden Erfahrungen als Beitrag zur allgemeinen Klärung und zur Erleichterung der gemeinsamen Weiterarbeit mitzuteilen. Da im Mittelpunkt unseres Interesses stets die Frage nach der Verwendbarkeit der Methode in der Geomorphologie stand, steht auch der Inhalt der folgenden Ausführungen in erster Linie unter diesem Gesichtspunkt. Von einer speziellen Erörterung der wichtigen und interessanten Probleme des Mechanismus des Schottertransportes und des Mechanismus der Schotterformung möchten wir in dieser Mitteilung jedoch noch absehen in der Meinung, daß hierzu das vorhandene Meßmaterial noch nicht ausreicht.

## I. Die Grundlagen der morphometrischen Schotteranalyse

### 1. Die Indizes, ihre Messung, Berechnung und Darstellung

Die wichtigsten Elemente der Gestalt von Schottern sind, abgesehen von der absoluten Größe, das Verhältnis der Länge, Breite und Dicke zueinander wie der Grad der Zurundung. Von dem Längen-Breiten-Dicken-Verhältnis hängt es ab, ob ein Schotter schlank, massig oder abgeplattet erscheint, vom Grade der Zurundung, ob er eckig, rund oder in geringerem oder höherem Maße zugerundet aussieht. Diese wichtigsten Eigenschaften hat A. Cailleux<sup>6) 7) 8) 9)</sup> in Zahlen zu fassen versucht, indem er verschiedene Indizes aufstellte. Er bezeichnete einen Index, der die Verhältnisse der Länge, Breite und Dicke zueinander berücksichtigt, als „indice d'applatissement“ und berechnete ihn nach der Formel  $(L + l) : 2E$ , einen weiteren Index als „indice d'émousé“ mit der Formel  $2r : L$ . In beiden Formeln bedeutet  $L$  die größte Länge,  $l$  die größte Breite senkrecht zu  $L$ ,  $E$  die größte Dicke senkrecht zur Schnittebene von  $L$  und  $l$ .  $r$  ist der Radius der als Kreisbogenausschnitt aufgefaßten Rundungen eines Schotters. Dieser Ausdruck wird unterteilt in  $r_1$  für den kleinsten Rundungsradius in der Ebene  $L/l$ ,  $r_2$  für den zweitkleinsten Rundungsradius in der gleichen Ebene und  $r_{\min}$  für den absolut kleinsten Rundungsradius, der an einem Schotter überhaupt aufzufinden ist. Den bisher vorliegenden Untersuchungen über die Zurundung liegt meist nur der Radius  $r_1$  zugrunde, der auch von uns allein verwandt worden ist.

Die Messung dieser Größen erfolgt mit Hilfe einer zielscheibenartigen Tafel, deren konzentrische Kreise im inneren Bereich der Tafel Abstände von 2 mm, im äußeren Bereich von 5 mm haben und für einen aufgelegten Schotter eine rasche Ablesung seiner Größen gestatten. Die Ablesung muß auf 1 mm genau, für den Radius der Rundung in Anbetracht der Verdoppelung seines Wertes in der Zurundungsformel auf mindestens  $\frac{1}{2}$  mm genau, geschehen. Zur Bereitung eines gut vergleichbaren und von Zufälligkeiten freien statistischen Materials ist an jeder Meßstelle die Entnahme von wenigstens 100 Schottern erforderlich. Kleinere Schotterzahlen, etwa nur 50 oder gar nur 30, wie sie von einigen Forschern gewählt wurden, liefern nicht mehr den allgemeinen Betrachtungen dienliche Ergebnisse. Für die Bestimmung der Abplattung scheinen aus hernach noch sichtbar werdenden Gründen selbst 100 Schotter noch zu wenig.

Die Errechnung der Indizes muß beim Abplattungs-Index auf Hundertstel, beim Zurundungs-Index auf Tausendstel genau erfolgen. Da  $E$  maximal

=  $l$ ,  $l$  maximal =  $L$  sein kann,  $r$  maximal  $1/2 E$  beträgt, ergibt sich für den Abplattungs-Index ein Mindestwert von 1,0, für den Zurundungs-Index ein Höchstwert von 1,0. Es empfiehlt sich, zur Vermeidung des Schreibens von Kommastellen die Werte des Zurundungs-Index in Tausendsteln, die des Abplattungs-Index in Hundertsteln anzugeben. Der Höchstwert der Zurundung beträgt demnach 1000, der Mindestwert der Abplattung 100. Je stärker die Zurundung eines Schotters wird, desto mehr nähert sich der Index der Zurundung 1000; und je mehr ein Schotter in seiner Form von kubischer bis runder Gestalt abweicht, desto mehr wird der Index der Abplattung über 100 steigen.

Die Darstellung der Rechenergebnisse für den Zweck des Vergleichs verlangt die Hervorhebung des Typischen im Zahlenbilde der einzelnen Meßstelle unter Ausschaltung der Individualität des einzelnen Schotters. Cailleux hat hierfür den Medianwert gewählt. Dies ist der Wert, der über wie unter sich eine gleich große Anzahl anderer Indexwerte aufweist. Dieser Medianwert ist jedoch ein zu knapper Ausdruck. Bei seiner alleinigen Verwendung kommt die für Vergleiche ebenfalls wesentliche Streuung der Werte nicht mehr zur Geltung. Darum ist die Darstellung der Meß- und Rechenergebnisse in Diagrammen vorteilhafter, die J. Tricart<sup>13)</sup> als Histogramme, wir, nach einem Vorschlag von Prof. Meinardus, als Morphogramme bezeichneten<sup>10)11)</sup>. Zu ihrer Fertigung werden die für eine Meßstelle errechneten Indexwerte in die Wertegruppen 1—50, 51—100, 101—150 usw. geordnet. Die Gruppen werden auf der Abzisse, und der auf sie entfallende Prozentsatz aller Schotter auf der Ordinate abgetragen (Abb. 1—6). Die Gruppen kleiner zu nehmen, etwa als 25er- oder als 10er-Gruppen zu bilden, ist nicht ratsam, da dann die Zahl der auf die einzelne Gruppe entfallenden Werte so klein wird, daß der Zufall wieder stärker ins Spiel gelangt, es sei denn, man messe sehr viel mehr als 100 Schotter für die Meßstelle.

Morphogramme solcher Art kennzeichnen sehr gut den Formenzustand der Schotter an einem bestimmten Ort, haben damit aber zugleich einen beschränkten Aussagewert. Will man darüber hinaus Einblick in den Prozeß der Formenentwicklung erlangen, so muß man mehrere Morphogramme aus genetisch gleichartigen Ablagerungen im Sinne wachsender Transportlänge zu Morphogrammserien oder Morphogrammreihen zusammenstellen<sup>10)</sup>. Ihre Auswertung erlaubt dann den Schritt von der morphometrischen zur morphologischen Schotteranalyse und gewährt Einblick in die Gesetzmäßigkeiten der Formenentwicklung bei bestimmten Gesteinen und bestimmten Transportbedingungen. Am besten ist es, wenn die zugehörigen Meßstellen bei nicht zu großen Abständen zu einem Längsprofil durch die Akkumulationsmasse geordnet sind. Unterscheiden sich die Meßstellen einer Morphogrammreihe nur durch die Transportlänge ihres Materials, und sind sonst alle Bedingungen gleich, so liegt eine homogene Morphogrammreihe vor. Haben sich dagegen außer der Entfernung vom Ursprungsort der Schotter auch die Transport- und Lagerungsbedingungen geändert, sei es durch Zufuhr frischen Schuttes, durch Gefällsveränderungen usw., so ergeben sich inhomogene Morphogrammreihen.

In der Natur sind homogene Morphogrammreihen von solcher Länge, daß sie Gesetzmäßigkeiten leicht erkennen ließen, selten. Fast immer liegen

Störungen der geradlinigen Entwicklung vor. Doch lassen sich unter Umständen Einzelmorphogramme zu künstlichen Morphogrammreihen zusammenstellen, wenn eine genügend große Anzahl von Meßstellen in einem kleinräumigen Gebiet und im gleichen Gestein vorhanden ist, und wenn die Bedingungen des Transportes bei unterschiedlicher Länge des Transportweges angenähert die gleichen sind. Eine solche Zusammenstellung ist naturgemäß nur nach kritischer Auslese möglich. Die auf diese Weise erzielte homogene Morphogrammreihe bleibt ein Notbehelf, über dessen Fehlermöglichkeiten man sich stets erneut Rechenschaft geben muß.

Homogene wie inhomogene Morphogrammreihen gestatten wertvolle Einblicke in den „normalen“ und „gestörten“ Vorgang der Formenentwicklung im Schutt. Zur Darstellung dieser Entwicklung haben wir als weiteres Ausdrucksmittel das Historiogramm eingeführt<sup>10)</sup>, das die zeitliche, auf den Transportweg bezogene Abfolge der Formenentwicklung im Spiegel der räumlichen Verteilung der Schotterformenelemente zeigt. Bei ihm sind auf der Abszisse von links nach rechts die Meßstellen im Sinne der Gefällsrichtung abstands- oder transportlängentreu abgetragen, und stehen über der einzelnen Meßstelle in der Ordinate die zugehörigen Indexgruppen in der Höhe ihrer Prozentsätze, unterschieden durch Symbole. Linien oder Kurven verbinden von Meßstelle zu Meßstelle die gleichwertigen Indexgruppen und veranschaulichen durch ihren Verlauf den Formenwandel der Schotter (Abb. 2, 4—6).

## 2. Kritische Betrachtung zur Definition der Indizes

### a) Der Zurundungs-Index

Der Zurundungs-Index nach Cailleux<sup>x</sup> ist bereits in einer größeren Anzahl von Untersuchungen verwandt und praktisch erprobt worden. In seinen theoretischen Grundlagen und seinem formelhaften Aufbau ist er insofern gut, als er auf Formung der Schotter, sei es durch fortschreitende Zurundung, durch Neuschaffung scharfer Kanten und Ecken oder sei es durch Verkürzung der Achsen infolge Zerschlagens etwa bei stoßweiser Wasserführung, empfindlich reagiert. Die Zurundungs-Morphogramme für ein und dasselbe Gestein nehmen demzufolge nicht nur ein mit dem Transportmedium wechselndes Aussehen an (Abb. 2—6), sondern wandeln sich auch innerhalb ein und desselben Mediums in charakteristischer Weise mit der Länge des Transports oder mit der Änderung der äußeren Transportbedingungen.

Ein gewisser Einwand gegen den Zurundungs-Index könnte jedoch die Feststellung sein, daß z. B. eine schlecht gerundete Kugel und ein völlig gerundetes Rotations-Ellipsoid den gleichen Indexwert erhalten, daß der Index also kein einwandfreies Maß für die Rundung sei, da diese einmal mit der Zunahme der tatsächlichen Rundung, andererseits aber auch mit der Verkleinerung der größten Länge unter sonst gleichen Verhältnissen wachsen muß. Tatsächlich ist die Verwendung der größten Länge eines Schotters als Ausdruck für die Größe nicht ganz einwandfrei; es müßte streng genommen die ganze nicht durch die Rundung bestimmte Gestalt in Beziehung zur Rundung gesetzt werden. In der Praxis dürfte eine solche Verbesserung der theoretischen Grundlagen des Zurundungs-Index sich allerdings nur nachteilig

bemerkbar machen, indem sie die Schwierigkeiten der Messung und Berechnung sehr erheblich erhöht, hingegen nur eine unwesentlich größere Genauigkeit des Endwertes einbringt.

Ein weiterer möglicher Einwand wäre der Hinweis darauf, daß mit der Größe  $r_1$  nicht jede Form- und Rundungsveränderung eines Schotters erfaßt wird, beispielsweise dann nicht, wenn ein Schotter über eine Gefällssteile hinweggeführt wird und beim Aufschlag so zerbricht, daß die neuen scharfen Kanten und Ecken nicht in die Umrandung der Schnittebene von  $L$  und  $l$  fallen. Aber abgesehen davon, daß solche Fälle nach unseren Erfahrungen sehr selten sind, und abgesehen auch davon, daß die Zerschlagung dann immer noch durch den Wert  $r_{\min}$  in die Rechnung gebracht werden könnte, soll  $r_1$  ja nur einen für den ganzen Schotter repräsentativen Ausdruck seiner Rundung abgeben. Ein solch repräsentativer Wert ist aber zweifellos nicht der kleinste Rundungsradius, sondern eher der durchschnittliche Radius aller Rundungsradien. Die Wahrscheinlichkeit, daß  $r_1$  diesem durchschnittlichen, repräsentativen Rundungswert am nächsten kommt, ist groß. In der Ebene  $L/l$  gelegen, ist  $r_1$  kleiner als alle übrigen Rundungsradien dieser Ebene, aber größer als die meisten Rundungsradien außerhalb dieser Ebene. Diese Durchschnittstellung von  $r_1$  besagt, daß der Zurundungs-Index auf der Basis von  $r_1$  außer den durchschnittlichen und wichtigsten auch extreme Rundungen, die zur Charakterisierung der Streuungsbreite ebenfalls wesentlich sind, in gewissem Umfange mit zum Ausdruck bringt. Dadurch wird der Wert des Index letztlich noch erhöht.

#### b) Der Abplattungs-Index, Platttheit und Streckung von Geschieben und Schottern

Kann der Zurundungs-Index nach seinen theoretischen Grundlagen und auch nach den praktischen Erfahrungen als brauchbar gelten, so weist der Abplattungs-Index einen sofort erkennbaren Mangel auf: er wächst einmal mit der Verkleinerung von  $E$ , also mit zunehmender Abplattung des Schotters, zum andern aber auch mit der Vergrößerung von  $L$ , also bei gleichbleibender Platttheit mit der Entwicklung eines Stückes zu schlankeren Formen. Schlanke, keineswegs platte und platte, keineswegs schlanke Schotter können den gleichen Indexwert erhalten, da ja nur die Abweichung von kubischer bis runder Gestalt, nicht die Richtung dieser Abweichung auf platt oder schlank hin fixiert wird. Ein Diskus und eine Nadel sind mit Hilfe des Abplattungs-Index nicht zu unterscheiden.

Mit den aus solchen Überlegungen resultierenden Bedenken mag es zusammenhängen, daß der Abplattungs-Index nach Cailleux bisher kaum oder doch nur sehr selten verwandt worden ist. Es fehlt daher auch an Material zur Beurteilung der Frage, ob trotz der genannten Mängel der Index nicht vielleicht doch zur Analyse von Schottern brauchbar ist; denn ein in allem vollkommener, dabei aber auch einfach zu handhabender Index dürfte kaum zu finden sein. Um Aufschluß über diese Frage zu gewinnen, wurde der Cailleuxsche Abplattungs-Index an Hand eines ziemlich umfangreichen Materials von etwa 6000 Schottermessungen für etwa 40 verschiedene Ablagerungen (Moränen, Flußschotter, Solifluktionsschutt) und unterschiedliche

Gesteine (Quarzit, Diorit, Granit, Grauwacke, massige Kalke, Buntsandstein, Basalt) errechnet, ausgezählt und graphisch dargestellt. Es zeigten sich dabei in den Morphogrammen fast stets die gleichen Bilder einer Häufung der Indizes in bestimmten Gruppen, gleichgültig, aus welchem Gestein oder aus welchen Ablagerungen die Messungen stammten. Die Morphogramme der Abb. 1a—d sind aus diesem Material ausgewählte Beispiele, die besonders klar die erwähnte Übereinstimmung veranschaulichen.

In diesen Darstellungen weisen nur vereinzelte Schotter einen Indexwert von mehr als 300 auf, weitaus die meisten, nämlich mehr als 40%, haben Indizes von 151—200. In den übrigen Morphogrammen, die dieser Arbeit nicht beigegeben sind, zeigen sich grundsätzlich die gleichen Verhältnisse, wenn auch Verschiebungen des Ausmaßes der Massierung in der Gruppe 151—200 vorhanden sind. Stets entfallen mehr als 85% der Schotter auf die Indexwerte 101—300. Zu offenbar den gleichen Ergebnissen ist auch Berthois<sup>1)</sup> gekommen. Gleichartige Morphogramme der Abplattung bildete auch Tricart<sup>13)</sup> ab und zwar für marine Gerölle. Die Gründe für diese Übereinstimmungen sind bisher nicht erörtert worden. Eine Ursache liegt darin, daß durch die Formel selbst bei beliebigen Ausgangswerten eine Häufung der Werte zwischen 101 und 300, insbesondere zwischen 151 und 200, bedingt wird. Das läßt sich in einem Diagramm anschaulich machen, in dem die Streuungsmöglichkeiten der Ausgangswerte für die jeweiligen Werte des Abplattungs-Index gezeigt werden (Abb. 1e). Trägt man auf der Abszisse die Indexwerte oder Indexgruppen auf, so erhält man die zugehörigen Werte für die möglichen Verhältnisse von  $E$  zu  $L$  bei jedem Indexwert auf der Ordinate, sobald man die beiden möglichen Grenzfälle  $l = L$  und  $l = E$  in der Cailleuxschen Ausgangsgleichung berücksichtigt.  $E:L$  kann sich maximal verhalten wie 1 zum zugehörigen Index, da die Ausgangsgleichung  $(L + l) : 2E$  für  $l = L$  zu  $2L : 2E$  wird. Das minimal mögliche Verhältnis von  $E$  zu  $L$  wird bestimmt durch den zweiten Grenzfall der Ausgangsgleichung, wenn  $l = E$  ist. Die Gleichung lautet dann  $(L + E) : 2E$ . Das Verhältnis  $E$  zu  $L$  kann also maximal sich verhalten wie 1 zum zugehörigen Index, minimal wie 1 zum zugehörigen zweifachen Index minus 1. Der Verlauf beider Kurven ist im Diagramm Abb. 1e, der Abstand zwischen ihnen und damit die statistische Erwartung einer bestimmten Häufung von Indexfällen im Diagramm  $f$  dargestellt.

Ein Vergleich des Diagramms  $f$  mit den Diagrammen  $a, b, c, d$  zeigt allerdings sofort, daß die tatsächliche Häufung weit über die allein nach der Formel zu erwartende Häufung hinausgeht. Die nach dem Cailleuxschen Index entworfenen Morphogramme sind somit durchaus charakteristisch für Verhältnisse, die im Material gegeben sind. Allerdings ist nicht ersichtlich, ob die Abweichung von den der Formel nach zu erwartenden Werten auf einer Platitude oder auf einer Schlankheit der Schotter beruht. Es wäre denkbar, daß die Abweichung von kubischer bis runder Gestalt, die in der Häufung der Indexwerte 151—200 zum Ausdruck kommt, bei einigen Ablagerungen auf stärkerer Platitude, bei anderen Ablagerungen auf stärkerer Schlankheit der Schotter beruht. Es wird damit notwendig, den Abplattungs-Index weiter aufzuschlüsseln, um Klarheit über die Gestalt der Schotter in unterschiedlichen Ablagerungen oder aus unterschiedlichen Gesteinen zu gewinnen.

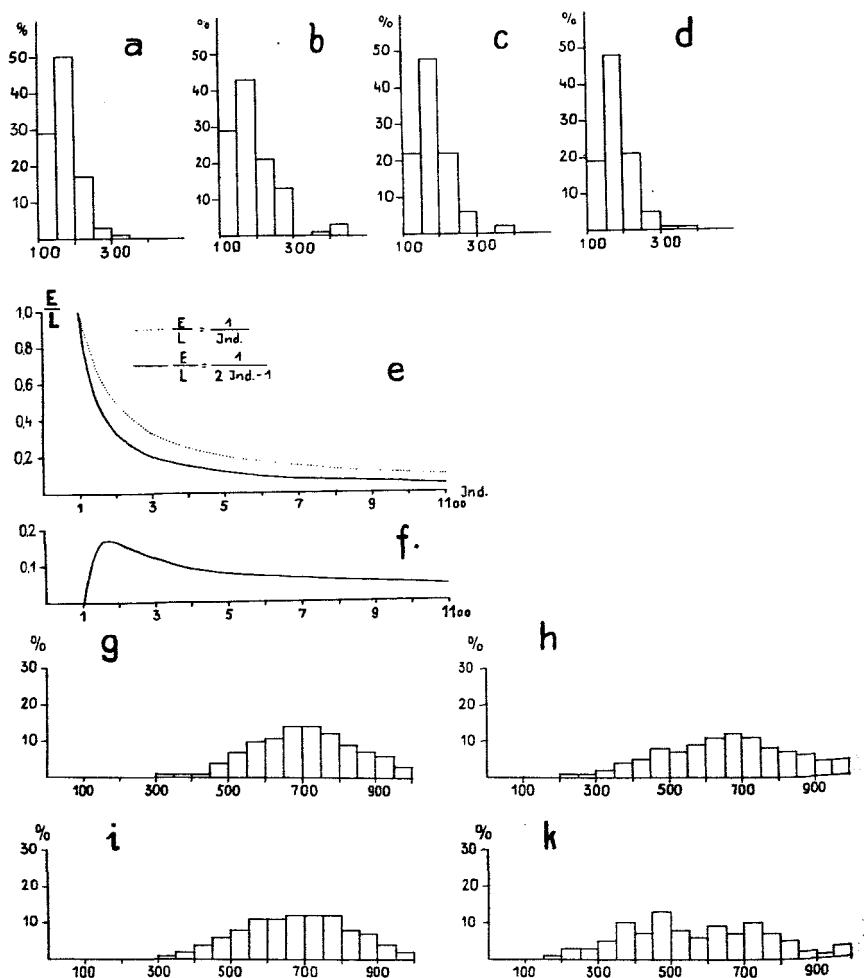


Abb. 1

a bis d: Morphogramme des Abplattungs-Index (nach Cailloux):

a: Zemmgrund, oberes Zillertal, 2000 m

Höhe, Grundmoräne, rezent, Diorit;

b: Mangfall bei Hagen nördl. Gmund,

700 m Höhe, glazialfluviale Schotter,

Würm, graue und blaue, massige Kalke;

c: Lonaual (Harz), 600 m Höhe, Solifluk-

tionsschutt, Würm, Acker-Bruchberg-

Quarzit;

d: Odertal (Harz), 600 m Höhe, Wildbach-

schotter, rezent, Granit.

e bis f: Die durch die Gleichung  $(L + l) : 2E$  be-

dingten Häufungen realer Werte, dar-

gestellt in:

e: durch die Kurven der Grenzfälle der Gleichung,

f: durch die Kurve des Abstandes zwischen den Kurven des Diagramms e.

g bis h: Durchschnittsmorphogramme aus je 12 Morphogrammen zu je 100 Messungen an Acker-Bruchberg-Quarzit:

g: Schlankheits-Index ( $l : L$ ),

h: Plattheits-Index ( $E : l$ ).

i bis k: Durchschnittsmorphogramme aus je zwei Morphogrammen zu 100 bzw. 110 Messungen in Grauwacken-Hornfels:

i: Schlankheits-Index,

h: Plattheits-Index.



Ausdruck für die Schlankheit eines Schotters ist nun das Verhältnis der Breite zur Länge: je mehr sich dieses Verhältnis 1 nähert, desto massiger, je mehr es sich von 1 entfernt, desto schlanker ist das Stück. Für die Platttheit ist dementsprechend das Verhältnis der Dicke zur Breite charakteristisch: je mehr beide Werte differieren, je weiter sich also das Verhältnis von 1 entfernt, desto platter, je mehr sich die Werte einander angleichen, je näher das Verhältnis 1 steht, desto weniger platt erscheint der Schotter.

Ausdruck der Schlankheit ist demnach  $l : L$ , der der Platttheit  $E : l$ . Da  $E$  maximal =  $l$ ,  $l$  maximal =  $L$  sein kann, ist der Höchstwert 1. Faßt man die errechneten Werte in der üblichen Weise zu Gruppen zusammen, so muß die Häufung der Indizes in bestimmten Gruppen Aufschluß geben über das bevorzugte Verhältnis der Schlankheit und Platttheit wie über die normale Abweichung von beiden.

Ein Teil unseres Materials wurde in diesem Sinne aufgeschlüsselt. Doch brachte die Auswertung der Messungen keine befriedigenden Ergebnisse. Die Morphogramme aus genetisch gleichartigen Ablagerungen zeigten im Prinzip der Verteilung der Indexwerte nur teilweise Übereinstimmungen, aber vielfach erhebliche Unterschiede. Auch der Versuch, aus Morphogrammreihen auf die mit dem Transport sich vollziehende Entwicklung innerhalb einer einheitlichen Ablagerung zu kommen, blieb erfolglos. Eine einheitliche Tendenz zur Abplattung oder zur Entwicklung schlanker oder massiger Formen ließ sich nirgends erkennen. Wenn sich aus dem ausgewerteten Material auch nicht mit Sicherheit folgern läßt, daß unterschiedliche Transportbedingungen keinen Einfluß auf Platttheit und Schlankheit der Schotter haben, so läßt sich doch klar erkennen, daß bei Transportstrecken bis 15 km ein Einfluß der Transportart auf Streckung oder Abplattung von Schottern nicht vorliegt. In erster Linie dürfte das darin seinen Grund haben, daß mit dem Plattheits- und Schlankheitsindex nur die Grobgestalt der Schotter erfaßt wird, die, wie bereits der Augenschein lehrt, durch die Beschaffenheit des Gesteins bestimmt wird. Die Neigung verschiedener Gesteine zu unterschiedlicher Absonderung und zur Ausbildung massigen, plattigen oder schlanken Schuttes ist bekannt. Da aber auch bei genetisch gleichartigen Ablagerungen und gleichem Gestein die Morphogramme teilweise erhebliche Unterschiede aufweisen, ist anzunehmen, daß die üblicherweise an einer Stelle gemessene Zahl von 100 Schottern nicht ausreicht, ein von Zufälligkeiten freies Bild der durchschnittlichen Beschaffenheit der Gestalt der Schotter zu geben.

Da auch wir an keiner Stelle mehr als 100 Schotter maßen, haben wir — um diesen Zusammenhängen wenigstens versuchsweise weiter nachgehen zu können — die je 100 Messungen von zunächst 12 Meßstellen für Quarzit in genetisch gleicher Ablagerung zusammengefaßt. Es ergab sich nach der Umrechnung auf Prozentsätze ein außerordentlich gut ausgewogenes Durchschnittsmorphogramm sowohl für die Platttheit als auch für die Schlankheit der Quarzitschotter (Abb. 1g und h).

Während beim Schlankheits-Index nur ein Maximum um den Indexwert 700 auftritt, zeigt der Plattheits-Index einen Hauptgipfel bei 650—700, einen Nebengipfel bei 450—500. Beide Gipfel sind auch in den einzelnen Plattheits-Morphogrammen stets deutlich ausgeprägt, wenngleich ihre Lage sich durchaus um eine Gruppe nach links oder rechts verschieben kann. Ebenso ist der

Gipfel bei 700 in der Mehrzahl der Schlankheits-Morphogramme vorhanden. Zeigt der Schlankheits-Index nur die Lage einer zu erwartenden Häufung an, so läßt die Doppelung des Gipfels beim Plattheits-Index vermuten, daß sich zwei verschiedene Tendenzen im Quarzit überlagern, von denen die eine mehr einem Verhältnis von 1:2, die andere mehr einem Verhältnis von 2:3 zuneigt. Man kann vermuten, daß darin Verhältnisse zum Ausdruck kommen, die auch der anstehende Quarzit zeigt: neben massigem, in dicken Bänken anstehendem Quarzit findet man petrographisch gleiches Gestein auch in dünneren, plattigeren Lagen. Ist für das massige Gestein das Spielen zwischen den Indexwerten 500 und 1000 charakteristisch mit der Lage des Maximums bei 650—700, so kennzeichnet den plattigen Quarzit der Spielraum innerhalb der Grenzwerte 250 und 750 mit dem Maximum etwa bei 500. Die Doppelung des Gipfels zeigt also lediglich an, daß das petrographisch einheitliche Material unterschiedliche Strukturen aufweist.

Die Gegenprobe wurde an Hand von nur zwei verschiedenen Messungen von 100 bzw. 110 Schottern in der Grauwacke des Harzes gemacht (Abb. li und k). Diese beiden Durchschnittsmorphogramme zeigen schon durch ihre unausgeglichene Gestalt, daß wenige hundert Messungen zur Erzielung eindeutiger Morphogramme nicht ausreichen. Versucht man trotzdem, diese unreifen Morphogramme auszuwerten, so erkennt man Unterschiede gegenüber den Quarzitmorphogrammen nur hinsichtlich der Plattheit der Schotter. Zwar liegen auch bei der Grauwacke zwei Maxima vor, doch übertrifft das Maximum bei 450—500 an Klarheit und Ausdehnung das Maximum bei 700—750 erheblich. Die jeweils zugesellten Nebenmaxima könnten vielleicht andeuten, daß sich bei Verbreiterung der statistischen Basis die Maxima noch je eine Gruppe nach links verschieben würden. Auffällig ist dabei, daß sich die Maxima in praktisch den gleichen Gruppen vorfinden wie im Quarzit. Vermutlich kommt darin zum Ausdruck, daß auch die Grauwackenschotter mehrfachen Ursprungs sind: neben massigen Bänken kommen ebenfalls dünnplattige Schichten mit einer Tendenz zur Absonderung in einer Richtung vor. Die Umkehr der Rangordnung der Maxima dürfte dann nicht mehr besagen, als daß das Verhältnis von massiger zu plattiger Grauwacke umgekehrt ist wie das Verhältnis von massigem zu plattigem Quarzit. Tatsächlich sind im Harz, aus dem das Material stammt, plattige Lagen in der Grauwacke erheblich häufiger als im Quarzit.

So interessant und auch wichtig vom Standpunkt metrischer Schotteranalysen aus die vorstehenden Erkenntnisse über den Einfluß der Gesteine auf die Gestalt von Schottern sein mögen, für geomorphologische Zwecke verwertbare Ergebnisse hat die Untersuchung nicht erbracht. Dennoch ist sie notwendig und wichtig, da sie zeigt, daß die Grobform der Schotter, wie sie in Plattheit und Schlankheit ihren Ausdruck findet, wenigstens bei kurzen Transportwegen nur vom Gestein abhängt. Es ist daher allein berechtigt, Schlüsse auf die transportdynamischen Verhältnisse bestimmter Ablagerungen aus der Zurundung der Schotter zu ziehen; denn nur in der Zurundung können diese Verhältnisse ihren Ausdruck finden. Die somit einstweilen notwendige Beschränkung der Methode auf die Bestimmung der Zurundung allein ist aber insofern nicht schwerwiegend, als die Morphologie allen Nutzen, den sie aus morphometrischen Schotteranalysen überhaupt erwarten

darf, in vollem Maße aus den Untersuchungen über die Zurundung der Schotter erhalten kann. Dies an einer Reihe von Beispielen zu zeigen, ist Aufgabe der folgenden Abschnitte.

## II. Die Zurundung von Schottern verschiedener Medien

### 1. Messungen in solifluidalen Ablagerungen

Die Abb. 2 und 3 enthalten Zurundungsmorphogramme für den Quarzit eines eiszeitlichen Solifluktionsmaterials aus dem Harz, dessen feste Gesteinskomponenten — dieser Umstand muß nachdrücklich betont werden — in höherer Lage durch mechanische Verwitterung aus anstehendem Gestein hervorgingen. Die Morphogramme sind eine Auswahl aus einer größeren Zahl prinzipiell gleichartiger Morphogramme, von welchen einige Beispiele schon in anderem Zusammenhang veröffentlicht wurden<sup>11)</sup>. Gemeinsam ist ihnen allen die schmale Basis — Indizes über 200 kommen gar nicht vor — und das ausgeprägte Maximum in der 1. Indexgruppe.

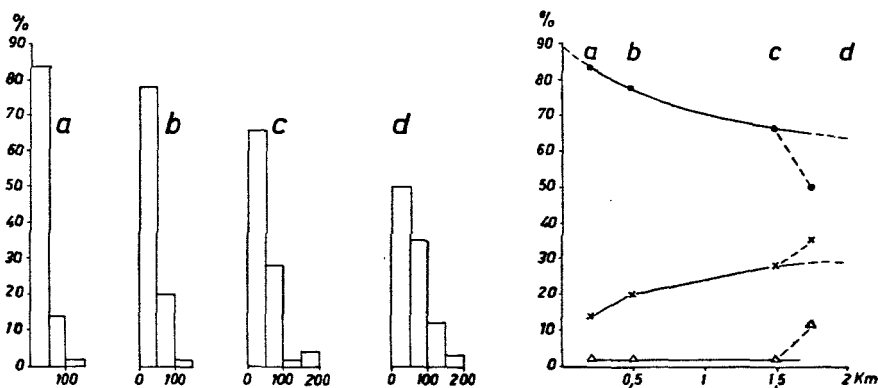


Abb. 2. Zurundungs-Morphogramme aus solifluidalem, würmeiszeitlichem Wanderschutt, Quarzit; rechts daneben das Historiogramm:

- a: Radautal (Harz), Gehänge-Wanderschutt, Transportweg 200 m;  
 b: Radautal (Harz), Gehänge-Wanderschutt, Transportweg 500 m;  
 c: Mariental (Harz), Gehänge-Wanderschutt, Transportweg 1,5 km;  
 d: Mariental (Harz), Mulden-Wanderschutt, Transportweg 1,7 km.

Historiogramm: ● 1. Index-Gruppe (0—50), ◊ 2. Index-Gr. (51—100), ▲ 3. Index-Gr. (101—150), ■ 4. Index-Gr. (151—200), ● 5. Index-Gr. (201—250), \* 6. Index-Gr. (251—300), △ 7. Index-Gr. (301—350), □ 8. Index-Gr. (351—400), ◇ 9. Index-Gr. (401—450).

Die Morphogramme Abb. 2 a bis c sind gesondert zu betrachten. Sie bilden eine künstlich zusammengesetzte homogene Reihe eines Gehänge-Wanderschuttes, der bei mittleren Böschungsverhältnissen befördert wurde. Die Meßstellen unterscheiden sich lediglich durch die Länge des Transportes, den das Material erfahren hatte. Bemerkenswert ist die mit der Transportlänge fortschreitende Zurundung. Von a bis c vermindert sich auf einer Wegstrecke von ca. 1300 m der auf die 1. Indexgruppe entfallende Anteil der Schotter von 84 auf 66%, zugunsten eines stärkeren Anwachsens der 2. Indexgruppe und einer Neubildung der 4. Indexgruppe. Dieser Prozeß schreitet aber nicht

unbegrenzt fort. Das läßt die Morphogrammreihe zwar nicht ohne weiteres erkennen; es wird aber um so deutlicher aus dem zugehörigen Historiogramm ersichtlich und zwar am besten aus der die 1. Indexgruppen der Meßstellen *a*, *b* und *c* verbindenden und über die Endpunkte *a* und *c* hinaus konstruktiv verlängerten Kurve. Diese zeigt im Überblick noch einmal die generelle, die fortschreitende Schotterzurundung kennzeichnende Verminderung der Schotteranteile der 1. Index-Gruppe mit der Transportlänge, und sie lehrt im Detail, daß diese Verminderung mit der Transportlänge sich verlangsamt. Auf der Transportstrecke 0 bis 500 m beträgt sie 12 Anteile, von 500 bis 1000 m 8 Anteile, von 1000 bis 1500 m 4 Anteile, zwischen 1500 und 2000 m nur noch 2 und wird dann praktisch 0, d.h. die 1. Indexgruppe hält sich fortan weiter in der Größenordnung von 65 bis 60%. Die 2. Indexgruppe wächst als Ausdruck fortschreitender Zurundung mit der Transportlänge auf Kosten der 1. Indexgruppe und erreicht nach Auskunft des Historiogramms bei 2000 m Transportlänge in der Größenordnung von 30% ihren höchsten und dann ebenfalls gleichbleibenden Wert. Mit diesen beiden Befunden stimmt ganz überein, daß unsere bisherigen Messungen, soweit sie sehr festes Gestein aus einem ursprünglich durch mechanische Verwitterung erzeugten Gehänge-Wanderschutt betrafen, für die 1. Indexgruppe nie weniger als 60%, für die 2. Indexgruppe nie mehr als 30% zeigten.

Auf der Grundlage des bis jetzt verfügbaren Materials lassen sich die Erfahrungen, bezogen auf Quarzit, gleich oder ähnlich feste Gesteine aus dem soeben nochmals gekennzeichneten Gehänge-Wanderschutt und geltend für homogene Entwicklung, in einigen Sätzen folgendermaßen zusammenfassen. Der Zurundungsprozeß, erst einmal mit der Bewegung des Schuttes in Gang gekommen, ist anfänglich infolge hoher Empfindlichkeit des scharfkantigen Verwitterungsschuttes sehr schnell, verlangsamt sich bei weiterem Transport aber so, daß seine Geschwindigkeit gewissermaßen umgekehrt proportional zur Transportlänge wird. Spätestens nach 2000 m Transportweg hört der Prozeß auf. Das Ergebnis ist dann ein reifes, bei weiterem Transport unter gleichen Bedingungen annähernd konstant bleibendes Morphogramm. Dies ist gekennzeichnet durch ein Maximum in der 1. Indexgruppe von nicht unter 60% und eine 2. Indexgruppe von nicht mehr als 30%. Das reife Morphogramm ist in diesem wie auch in später erwähnten Fällen zu verstehen als Ausdruck der idealsten Proportion der Schotter in Anpassung an ihr Transportmedium.

Das Morphogramm *d* der Abb. 2 verlangt eigene Betrachtung. Während die Meßstelle *c* noch im Bereich des Gehänge-Wanderschuttes, wenn auch am Fuße der Böschung, liegt, befindet sich die Meßstelle *d* unterhalb davon im Mulden-Wanderschutt (Korrosionsmasse) einer muldenförmigen Tal-schlußstrecke. Das Morphogramm hat im Vergleich zu den soeben besprochenen Morphogrammen einen im Prinzip gleichartigen Aufbau, aber eine wesentlich schwächere 1. und eine merklich stärkere 2. Indexgruppe. Die Meßstelle *d*, eingehängt in das Historiogramm, verursacht für alle Indexkurven in *c* ein scharfes Abknicken im Sinne eines zwischen *c* und *d* sich verstärkenden Zurundungsprozesses. Die Abfolge der Meßstellen von *a* bis *d* bildet eine inhomogene Reihe, in der sich zwischen *c* und *d* eine neue Entwicklung anbahnt. Die Meßstelle *d* gehört, wie gesagt, zwar ebenfalls einem Solifluktionsschutt

an, aber einem Solifluktionsmaterial des Talgrundes, das offensichtlich unter stärkerer Wasserbeteiligung, sozusagen in einem neuen Medium, befördert wurde. Einige hundert Meter unterhalb der Meßstelle *d* geht dann auch der ungeschichtete Solifluktionsschutt in gleichaltrige fluviatil geschichtete Schotterlager über. Ein dem Morphogramm *d* gleiches Morphogramm haben Messungen an anderer, aber milieugleicher Stelle gegeben. Nach diesen Beispielen ist für die Solifluktion mindestens zwischen zwei Reihen des Zurundungsprozesses zu unterscheiden, zwischen einer Reihe des trockeneren Substrats der Hänge, also des Gehänge-Wanderschutts, deren Grenzen wir oben bestimmen konnten, und einer Reihe des feuchteren und auch mobileren Mulden-Wanderschutts, in der die Zurundung einen höheren Grad erreicht als in der ersten Reihe, für die wir die Geschwindigkeit und Grenzen des Zurundungsprozesses jedoch noch nicht angeben können. Auch die aus dem Mulden-Wanderschutt resultierenden Morphogramme bleiben ebenfalls noch durch ein ausgeprägtes Maximum in der 1. Indexgruppe charakterisiert und unterscheiden sich somit nur graduell von den übrigen Solifluktions-Morphogrammen.

Eiszeitliche Wanderschuttmassen betreffende Messungen haben wir an verschiedenen Gesteinsarten durchgeführt, an Quarzit, Grauwackenhornfels, Granit und Buntsandstein. Soweit diese Komponenten durch mechanische Verwitterung aus dem Anstehenden heraus in den Wanderschutt gelangten, haben sie alle dieselbe Morphogrammform geliefert, wenn auch mit sehr feingraduellen gesteinsbedingten Unterschieden (Abb. 3 a—d).

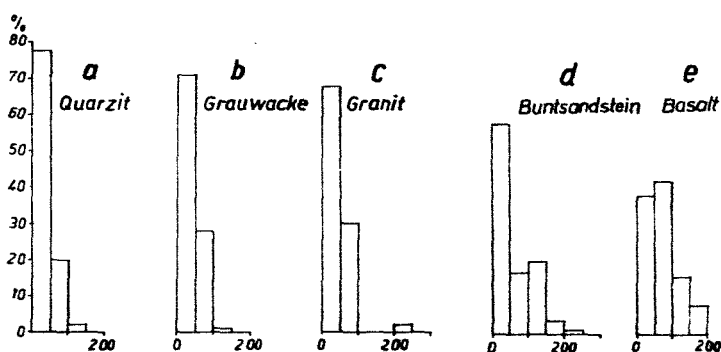


Abb. 3. Zurundungs-Morphogramme aus solifluidalem, würmeiszeitlichem Gehänge-Wanderschutt, verschiedenes Gestein

a: Mariental (Harz), Quarzit, Transportweg 1,5 km;  
b: Andreasberger Hochfläche (Harz), Grauwacke, Transport 100 m;

c: Odertal (Harz), Granit, Transportweg ca. 100 m;  
d: Meißner, Buntsandstein, Transport 100—300 m;  
e: Meißner, Basalt, Transport ca. 250 m.

Um so auffallender mag eine Abweichung sein, die der Basalt unter solchen gleichartigen Umständen bot. Abb. 3e bezieht sich auf einen Basalt, der dem Gehänge-Wanderschutt des Meißner angehört und durch mechanische Verwitterung aus der Basaltdecke des Meißner hervorging. Fest und dicht von Natur, dazu als Schutt in einem Gemenge von Fein- und Grobmaterial nur 300 m gewandert, hat der Basalt nach allen bisherigen Erfahrungen ein

den übrigen entsprechendes Morphogramm erwarten lassen. Statt dessen bietet er ein Morphogramm, das zwar eine starke 1. Indexgruppe, das Maximum aber in der 2. Indexgruppe hat, also eine etwas fortgeschrittenere Zurundung anzeigt. Der Befund ist durch weitere Messungen bestätigt. Er kann unseres Erachtens nur so gedeutet werden, daß der Basaltschutt seinen höheren Zurundungsgrad erst nachträglich als Auswirkung seiner hohen Empfindlichkeit gegen chemische Verwitterung erhielt, für die ja auch seine in unserem heutigen Klima immer vorhandene Verwitterungsrinde zeugt. Es möge dieser Fall als Hinweis darauf dienen, daß bei morphometrischen Messungen, die darauf abzielen, die Gesetzmäßigkeiten des Zurundungsprozesses innerhalb eines bestimmten Mediums festzustellen, nicht jedes beliebige Gestein Verwendung finden kann.

Eine andere Abweichung von den oben geschilderten Morphogrammen bietet die Abbildung 6 III b. In diesem Falle handelt es sich um Material aus einem eiszeitlichen Gehänge-Wanderschutt, der seine festen Komponenten aus höhenwärts anstehenden miozänen Schottern mit einem sehr hohen Zurundungsgrad empfing. Für jene Komponenten, die in den Wanderschutt gerieten, bahnte sich mit dem Übergang in ein neues Medium und mit der Exposition gegen die kaltklimatischen Einflüsse eine rückläufige Entwicklung der Zurundung an, die ihren Ausdruck findet in der Verstärkung kleiner Indizes auf Kosten der höheren. Ob diese Rückentwicklung im Sinne der Verminderung des Zurundungsgrades letztlich hingeführt hat zum oben geschilderten Soliflukts-Morphogramm, hat sich nicht feststellen lassen. Unabhängig hiervon lehrt das Beispiel, daß das Aussehen von Soliflukts-Morphogrammen sehr wesentlich mitbestimmt werden kann durch Formeneigenschaften, die die Schotter mit in das neue Medium bringen, und die sie hier in Anpassung an das neue Milieu erst verlieren müssen. Gesetzt, die Solifluktion verleihe bei hinreichender Einwirkung jedem durch sie bewegten Schutt ein charakteristisches Aussehen und strebe auf ein allen Solifluktsmassen gemeinsames End-Morphogramm hin, dann vollzieht sich die Entwicklung dahin nach allen besprochenen Beispielen einmal auf dem Wege einer schwachen Zurundung vorher scharfkantigen Verwitterungsschuttes und zum anderen auf dem Wege der Aufbereitung von Detritusmassen, die unter anderen Bedingungen vorher bereits einen höheren Zurundungsgrad erhalten hatten.

## 2. Messungen in moränischen Ablagerungen

Eine größere Anzahl von Morphogrammen aus würmeiszeitlichen Moränen des Harzes, abgelagert durch Talgletscher, haben wir schon früher veröffentlicht und erörtert<sup>1)</sup>. Es genügt daher, wenn hier die bisherigen Ergebnisse noch einmal kurz zusammengefaßt und dann durch neue Messungen und Gesichtspunkte ergänzt werden.

Die Messungen, deren Resultate wir vorsichtshalber im wesentlichen nur als gültig für Talgletscher ansehen möchten, haben im allgemeinen Morphogramme nach der Art von Abb. 4c und d ergeben. Sie unterscheiden sich deutlich von den zuvor erläuterten Soliflukts-Morphogrammen und sind insbesondere charakterisiert durch das betonte Maximum der Indizes zwischen 51 und 100, also der 2. Indexgruppe. Alle übrigen Indexgruppen sind

schwach. Indizes über 300, die den Soliflukations-Morphogrammen im allgemeinen fehlen, kommen hier wenigstens in geringer Zahl vor.

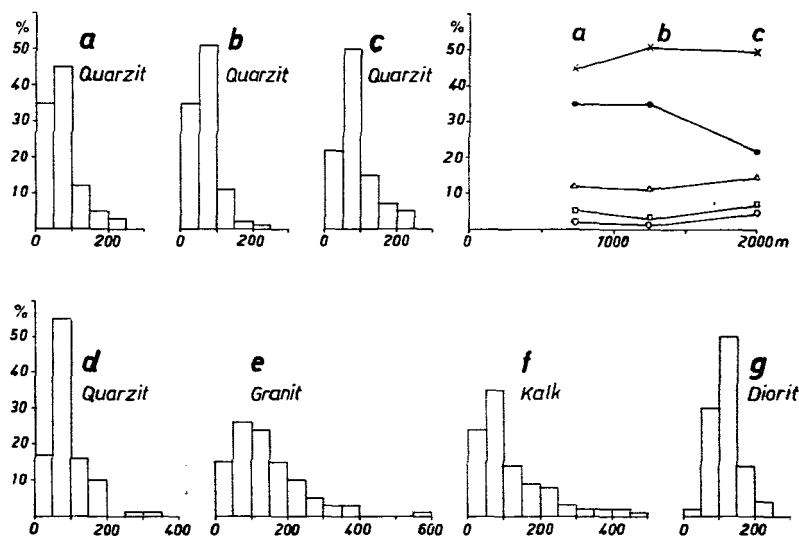


Abb. 4. Zurundungs-Morphogramme von moränischem Geschiebe, a bis c als homogene Morphogramme, rechts daneben das zugehörige Historiogramm

a: Kellwassertal (Harz), Transport 700 m, würmeiszeitlich;

b: Kellwassertal (Harz), Transport 1,25 km, würmeiszeitlich;

c: Kellwassertal (Harz), Transport ca. 2 km, würmeiszeitlich;

e: Odertal (Harz), 435 m Höhe, Ende der Grundmoräne, würmeiszeitlich;

Historiogramm: Erläuterung s. unter Abb. 2

Die Entwicklung zu diesem Morphogramm, das insofern als reif angesehen werden darf, als es auf längeren Profilen über mehrere Kilometer als konstant angetroffen wurde, wird durch Abb. 4a bis c angedeutet. Es resultiert aus der mit der Transportlänge fortschreitenden Zurundung, bei der die 1. Indexgruppe nahezu ganz zugunsten der 2. Indexgruppe aufgefressen wird. Das bezeichnende Maximum der 2. Indexgruppe macht sich schon nach einem Transport von einigen hundert Metern bemerkbar, während das reife Morphogramm sich offenbar erst nach 1,5 bis 2 km Transportweg einstellt. Die große Konstanz dieses Morphogramms, natürlich nur möglich bei nahezu unverändertem Eistransport, wird besser als durch unsere Messungen durch zwei Morphogramme belegt, die J. Tricart (<sup>12</sup>, Fig. 9 A u. B) veröffentlichte. Das eine bezieht sich auf eine würmeiszeitliche Talgletschermoräne bei Stoßweier in den Vogesen und umfaßt Geschiebematerial, das 0 bis 5 km transportiert sein muß; das andere entstammt der Jungmoräne bei Schülldorf in Schlewig und betrifft skandinavischen Granit, der einen Transportweg von wenigstens 500 km hinter sich hat. Das erste dieser Morphogramme gleicht vollständig jenen unserer Abb. 4c und d; das zweite zeigt zumindest im Prinzip den gleichen Aufbau.

Hervorzuheben ist nun aber, daß Morphogrammreihen, die den Zurundungsprozeß in gewissermaßen geradliniger Entwicklung veranschaulichen können, im moränischen Material im allgemeinen schwerer zu haben sind. Sie bieten sich noch am ehesten im mittleren Bereich eines Moränenstranges dar. Sonst aber zeigen die Morphogramme auch selbst benachbarter Stellen eine im Vergleich zur Solifluktion auffallend größere Variationsbreite, indem die Anteile der einzelnen Indexgruppen von Morphogramm zu Morphogramm sehr schwanken können. So zeichnen sich Morphogramme von Meßstellen in seitlicher Randlage oder von Seitenmoränen gegenüber Meßstellen in Mittellage durch eine besonders starke 1. Indexgruppe aus. Das mag daraus verständlich sein, daß diese Stellen im Bereich der Zufuhr scharfkantigen Schuttes von den Hängen her liegen bzw. lagen. Andere Morphogramme, solche aus dem unteren Endbereich von Grundmoränen oder aus der Endmoräne (Abb. 4 e und f), dokumentieren durch wesentliche Abschwächung der Indexgruppen 1 und 2 und das Hinzukommen höherer Indexgruppen einen viel höheren Zurundungsgrad, so daß stattgehabte Mitwirkung von Schmelzwasser angenommen werden muß. Alle diese Variationen weisen auf einen viel differenzierteren Zurundungsprozeß hin, als er sich etwa bei der Solifluktion abspielt. Generelle Unterschiede im Sinne steigenden Zurundungsgrades zeichnen sich zumindest in der Reihenfolge Seiten-, Grund- und Endmoräne ab. Trotz allem bleibt aber — wenigstens nach den bisherigen Messungen zu urteilen — allen Morphogrammen aus würmeiszeitlichen Talgletschermoränen, sofern es sich wirklich um Moränen und nicht um Sander-, Oser- oder sonstiges subglazial oder fluvioglazial durch Schmelzwasser befördertes Material handelt, das Maximum in der 2. Indexgruppe eigentümlich.

Auf dem Hintergrund dieser Feststellung gewinnen Morphogramme von rezenten Alpenmoränen Interesse, die, wie Abb. 4 g zeigt, das Maximum nicht mehr in der 2., sondern erst in der 3. Indexgruppe haben und mitunter auch nach rechts auf noch höhere Indexgruppen ausgreifen. Haben wir soeben und vorher schon für den Solifluktionsschutt erkennen müssen, daß innerhalb ein und desselben Mediums der ungestörte Zurundungsprozeß auf ein hernach dann konstant bleibendes Morphogramm zusteuert, und daß eine über dieses Morphogramm hinausführende Zurundung erst bei erhöhter Mitwirkung von Wasser einsetzt, dann dürfen wir Gleiches auch für den vorliegenden Fall annehmen. Das Untersuchungsmaterial erlaubt noch kein abschließendes Urteil, legt aber die Wahrscheinlichkeit nahe, daß der höhere Zurundungsgrad des rezenten Moränenmaterials in den Alpen auf eine im Vergleich zu den würmeiszeitlichen Verhältnissen heute stärkere Schmelzwasserführung der Gletscher zurückgehe. Auf gleicher Linie liegen wohl auch die Erwägungen J. Tricarts, der in einer Korrespondenz mit uns<sup>11)</sup> jene Moränen-Morphogramme aus dem Harz mit dem Maximum in der 2. Indexgruppe mit den Morphogrammen solcher Talgletscher identifizieren möchte, die wenig Schmelzwasser führen und betont kalten Klimaten angehören. Sollte sich der sichtbar gewordene Gegensatz zwischen den würmeiszeitlichen und den rezenten Moränen durch weitere Messungen, vor allem aus den Alpen, als generell herausstellen, dann würde sich die morphometrische Schotteranalyse, angewandt auf vorzeitliche Moränen, in diesem speziellen Punkte auch als besonders feiner Klima-indikator erweisen.



### 3. Messungen in Ablagerungen fließenden Wassers

Es ist eine längst bekannte Tatsache, daß fluviatile Schotter im allgemeinen viel stärker zugerundet sind als moränisches oder gar solifluidales Geschiebmaterial. Es nimmt daher nicht wunder, daß auch ihre Morphogramme wesentlich anders sind (Abb. 5—6). Bemerkenswert bleibt aber doch, daß diese Morphogramme in ihrer Gesamtheit und im Vergleich zu den Solifluktions- und Moränen-Morphogrammen einen wieder durch zahlreiche Züge relativ einheitlichen Ausdruck haben und damit wieder einen eigenen Typ darstellen. Ihre wichtigsten Merkmale sind das Fehlen oder die nur schwache Vertretung der Gruppen kleiner Indizes, eine Verschiebung des Maximums auf die 3., 4. oder 5. Indexgruppe und zunehmender Aufbau der Gruppen mittlerer und hoher Indizes. Ebenso unverkennbar wie die allgemeinen typisierenden Züge sind bei näherer Betrachtung der Morphogramme aber auch die zahlreichen feinen Variationen, die sicher durch verschiedene Einflüsse bedingt sind. Die Zahl dieser Variationen dürfte wohl in Wirklichkeit noch größer sein, als die Abb. 5 und 6 erkennen lassen, da die darin enthaltenen Morphogramme ja nur wenige Fälle von zudem genetisch recht nahe verwandten Ablagerungen widerspiegeln. Einzelbetrachtung und Vergleich machen aber auch innerhalb dieser Variationen wieder gewisse Ordnungen und Zusammenhänge sichtbar.

Die Morphogramme Abb. 5 I und II stammen aus den jetztzeitlichen Ablagerungen zweier Alpentäler, dem Flotengrund und dem Zemmgrund (Zillertaler Alpen). Den Abschluß beider Täler bilden Gletschergruppen, welchen rezente glaziale und fluvioglaziale Ablagerungen vorgelagert sind. Die beiden Morphogrammreihen sind wegen der Gleichheit des Milieus, der Gleichheit des zur Messung verwendeten Gesteins (Diorit) und auch wegen der gleichartigen Anordnung der Meßstellen gut vergleichbar. In den Abb. 5 I und II folgen die Meßstellen von oben nach unten im Sinne des Talgefälles. In beiden Fällen liegt die oberste Meßstelle um 2—3 km unterhalb der das Vorfeld der Gletscher bildenden glazialen Ablagerungen; die übrigen Meßstellen folgen in Abständen von 1—1,5 km. Die Morphogramme a bis c bilden je eine homogene Reihe. Die beiden obersten Morphogramme beziehen sich auf Schotter, die aus den glazialen Ablagerungen der Gletschervorfelder hervorgingen. Die ursprünglich glazialen Formeneigenschaften der Schotter kommen in den Morphogrammen jedoch schon nicht mehr zur Geltung. Beide Morphogramme sind übrigens statistisch gleichwertiger als ihr Bild erscheinen läßt. Die Zahl der auf ihre Indexgruppen 4, 5 und 6 entfallenden Schotter ist nahezu gleich groß und beträgt im einen Falle 53 und im anderen 55. Die weitere Entwicklung von Meßstelle *a* nach *b* bewirkt eine merkliche Verschiebung des Gewichtes der Morphogramme nach rechts, bedeutet also zunehmende Zurundung der Schotter. Von *b* nach *c* ist die Veränderung dagegen nur noch so schwach, daß die Morphogramme *c* als reife Morphogramme angesprochen werden dürfen, was soviel heißt, daß Schotter von Diorit unter den in den inneren Alpentälern obwaltenden Bedingungen nach 4—5 km unveränderten Transports mit Bezug auf die Zurundung die Endform der homogenen Entwicklung erhalten. Das dann erreichte Morphogramm zeigt eine Häufung der Schotter auf die Indizes 151—350 mit einem schwachen Maximum in der Gruppe 201—250.

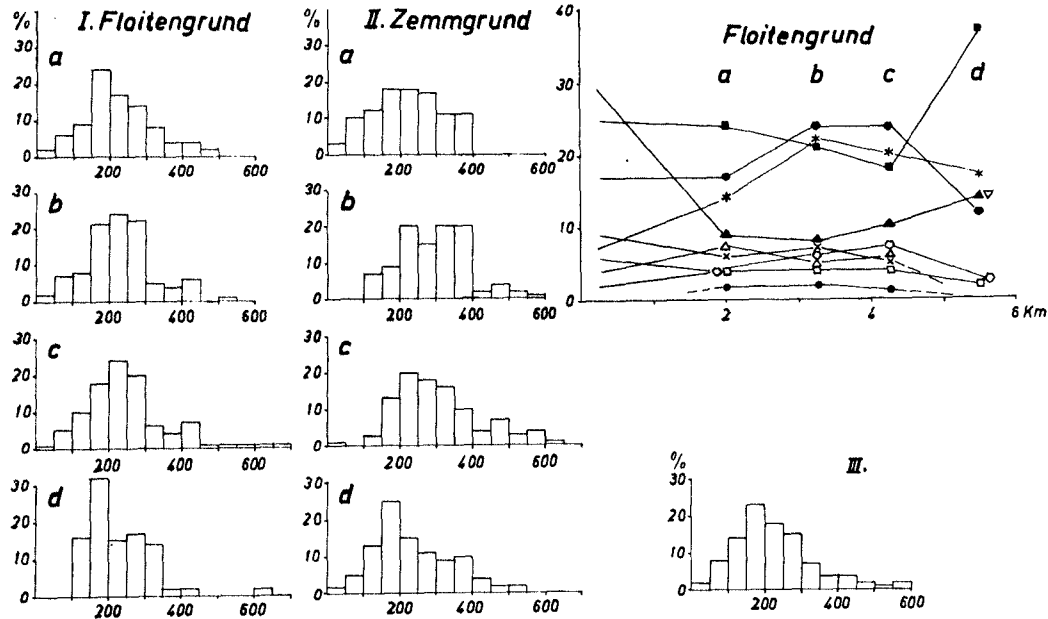


Abb. 5. Zurundungs-Morphogramme zerenter fluvialer Ablagerungen

I: Floitengrund (Zillertaler Alpen), Diorit; Talgrund 1550—1290 m Höhe;  
 a: Transportweg ca. 2 km;  
 b: Transportweg ca. 3,25 km;  
 c: Transportweg ca. 4,25 km;  
 d: Transportweg ca. 5,5 km.

II: Zemmgrund (Zillertaler Alpen), Diorit; Talgrund 1380—1200 m Höhe;  
 a: Transportweg 2—3 km;  
 b: Transportweg ca. 3,25 km;  
 c: Transportweg ca. 4,25 km;  
 d: Transportweg ca. 5,5 km.

III: Odertal (Harz), Wildbachschotter, rezent, Granit.

Historiogramm: Erläuterung s. Abb. 2.

Eine sehr auffallende Veränderung tritt sodann zwischen den Meßstellen *c* und *d* im Sinne einer kräftigen Schotterverjüngung ein, indem in den Morphogrammen *d* gegenüber den Morphogrammen *c* das Gewicht wieder nach links auf kleinere Indexgruppen verlagert wird. Die Ursache für diese plötzliche Veränderung ist insofern leicht greifbar, als die Meßstellen *d* in beiden Reihen unterhalb eines viele Meter hohen Gefällsbruchs liegen. Die über diese Gefällsbrüche geführten Schotter haben sich also unter neuen hydrodynamischen Einflüssen befunden und büßten durch Aufschlag und Bruch ihren zuvor höheren Zurundungsgrad ein. Erwähnenswert ist, daß die Morphogramme dieser Stellen nahezu völlig solchen Morphogrammen ähneln, die uns rezente Wildbachschotter im Harz lieferten (Abb. 5 III).

Abb. 6 I (Odertal) führt nun eine Morphogrammreihe von würmeiszeitlichen fluviatilen Schottern vor, die in mancher Hinsicht unter ähnlichen Umständen, wie die soeben besprochenen, transportiert und abgelagert wurden und doch abweichende Eigenschaften zeigen. Es handelt sich um Schotter, die ebenfalls im räumlichen Anschluß an glaziale Ablagerungen (Moräne) in den fluviatilen Transport gelangten. Auch in dieser Morphogrammreihe handelt es sich um Granit; die Meßstellen verteilen sich auf einen nahezu 5 km langen Transportweg. Gefällsbrüche sind auf dieser Strecke nicht vorhanden. Das der obersten Meßstelle entsprechende Morphogramm *a*, etwa 2 km von den glazialen Ablagerungen entfernt, aus welchen seine Schotter hervorgingen, läßt ähnlich wie jene entsprechenden Meßstellen im Floitengrund und Zemmgrund kaum noch die glaziale Herkunft der Schotter ahnen. Weiter flußabwärts nimmt nach Auskunft der nur 300 m und 750 m entfernten Meßstellen *b* und *c* die Zurundung der Schotter raschen Fortschritt. Zwischen *c* und *d* — letzteres etwa 2 km unterhalb *c* — sind dann kaum noch Veränderungen zu verzeichnen, so daß diese beiden Morphogramme als Ausdruck von in der Zurundung ausgereiften Schottern gelten dürfen. Das reife Morphogramm ist in diesem Falle bereits nach 3, spätestens nach 3—4 km Schottertransport erreicht. Anders als in den Alpentälern ist auch das Endresultat der homogenen Entwicklung, indem im reifen Morphogramm des würmeiszeitlichen Materials im Odertal die Häufung der Schotter mit 46%, auf die Indexgruppen 51—250 entfällt und in der 4. Gruppe ein schwaches Maximum bildet, während in den Alpentälern — wie ausgeführt — diese Häufung auf die Indexgruppen 151—350 mit Maximum in 201—250 zu liegen kommt. Das reife Morphogramm des würmeiszeitlichen Materials zeigt somit einen merklich geringeren Zurundungsgrad. Unsere Meßunterlagen reichen auch in diesem Falle noch nicht zu einem letzten Urteil aus, doch lassen sie vermuten, daß der geringere Zurundungsgrad würmeiszeitlicher Schotter klimatisch bedingt sein kann und eine Folge des kalten Klimas und seiner Rückwirkung auf die Art der Wasserführung und durch Frost auf die Schotter selbst darstellt.

Der so nur vermutbare Einfluß eines Kaltklimas auf den Zurundungsvorgang im fluviatilen Medium scheint deutlicher in der Morphogrammreihe Abb. 6 III (Schweinbach-Tal) sichtbar zu sein. Diese Reihe, auf die wir schon einmal Bezug nahmen, bezeichnet die Veränderungen, die feste blaue Kalkschotter auf einem Wege erfuhren, der sie aus einem gut geschichteten miozänen Schotterlager (Abb. 6 IIIa) in einen würmeiszeitlichen Gehänge-Wanderschutt (Abb. 6 IIIb) und von hier in einen würmeiszeitlichen fluviatilen, also

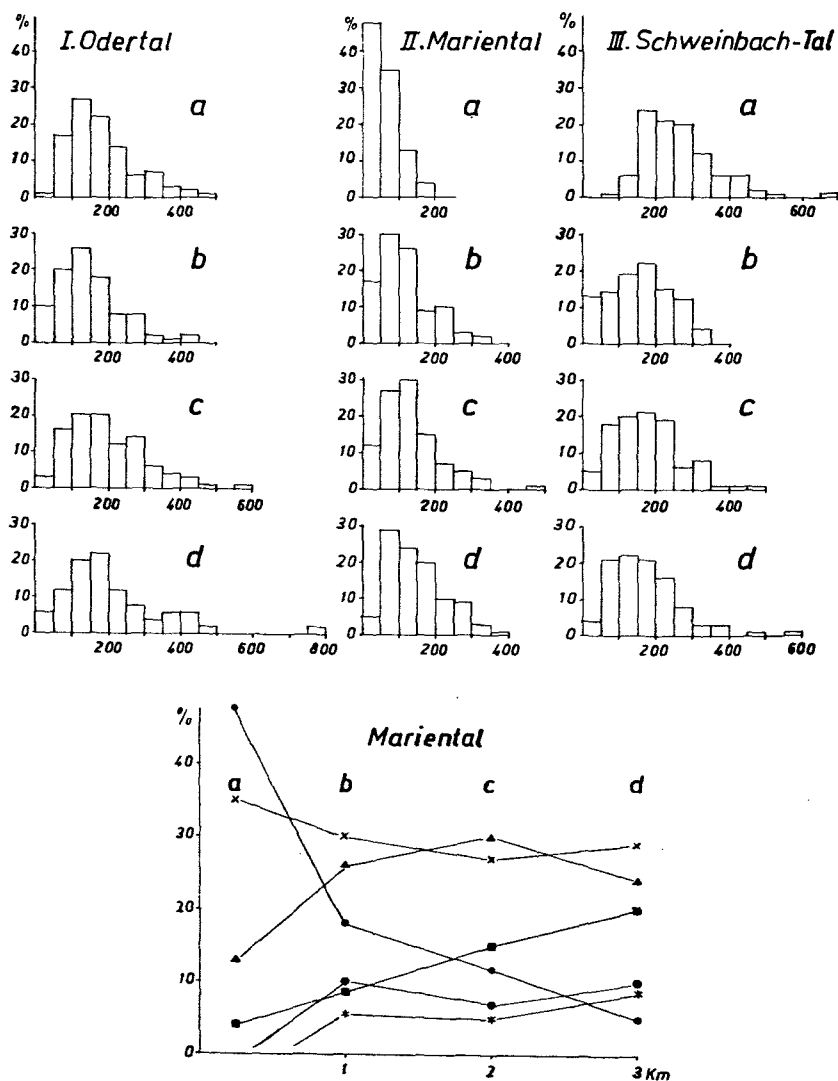


Abb. 6. Zurundungs-Morphogramme verschiedener Ablagerung, Historiogramm des Marientals:

I: Morphogrammreihe des Odertals (Harz), Granit; II: Morphogrammreihe des Marientals (Harz), Quarzit, periglazial-fluviatil;  
 a: Transportweg ca. 2 km; a: Transportweg 250 m;  
 b: Transportweg ca. 2,3 km; b: Transportweg 1 km;  
 c: Transportweg ca. 2,7 km; c: Transportweg 2 km;  
 d: Transportweg ca. 4,7 km; d: Transportweg 3 km;

Historiogramm: Erläuterung s. Abb. 2.

III: Morphogrammreihe aus dem Schweinbachtal (Niederbayer. Hügelland); fester blauer Kalk:  
 a: als miozäner Schotter,  
 b: als würmeiszeitl. Gehänge-Wanderschutt, aus a hervorgegangen;  
 c: als periglazial-fluviatiler Schotter, aus b hervorgegangen, Transportweg bis 2 km;  
 d: dasselbe wie c, Transportweg bis 5 km.

periglazial-fluviatilen Transport führte (Abb. 6 III c und d). Die erste Etappe dieser Veränderungen ist bereits oben besprochen worden. Sie ist gekennzeichnet durch eine erhebliche Verminderung des Zurundungsgrades der Schotter in der Solifluktionsmasse. Das Morphogramm *b* zeigt im Vergleich zum Morphogramm *a* eine starke Reduktion aller Indexgruppen über 300 und einen entsprechend kräftigen Aufbau der kleinen Indexgruppen von 0—150. Wir haben oben schon in anderem Zusammenhang diesen Verlust an Zurundung als Wirkung des eiszeitlichen Frostklimas zu deuten gesucht. In der zweiten Etappe ihrer Entwicklung, nämlich nach Übergang ins periglazial-fluviatile Medium erfahren die Schotter wieder erneute Zurundung. Im Morphogramm *c* ist im Vergleich zu *b* die Zahl der scharfkantigen und deshalb sehr empfindlichen Schotter der Indexgruppe 0—50 wieder stark vermindert zugunsten der nächst höheren Indexgruppen 51—100 und 101—150. Von Meßstelle *b*, wo die Schotter einen fluviatilen Transport von 2 km erfahren haben, tritt bis zur Meßstelle *d* auf zusätzlich 3 km Transport keine wesentliche Veränderung mehr ein, so daß das Morphogramm *d* das ausgereifte Morphogramm dieser Reihe sein dürfte. Ein Vergleich dieses reifen Morphogramms mit dem Solifluktions-Morphogramm *b* lehrt, daß die Intensität des Zurundungsprozesses im periglazial-fluviatilen Medium nur sehr begrenzt gewesen ist. Das bestätigt auch ein Vergleich des reifen Morphogramms *d* mit dem ebenfalls fluviatilen Morphogramm *a*, dessen Schotter unter völlig anderen Bedingungen, vor allem auch anderen Klimabedingungen, befördert wurden. Im Vergleich zu ihm hat das Morphogramm *d* durchaus seine Eigenständigkeit. Der geringe Zurundungsgrad der Schotter, den es veranschaulicht, kann auch kaum anders als durch die besondere Eigenart der Wasserführung unter periglazialen Klimaverhältnissen verstanden werden. Die Wasserführung und ihre Wirkung auf die Schotter war offenbar nicht wesentlich anders als an den heutigen Wildbächen und Gefällsteilen, vornehmlich stoßweise und stark turbulent und damit bezüglich der Schotter kanten- und eckenerneuend. Wenn für die Zeit periglazialer Klimaverhältnisse für unsere mitteleuropäischen Flüsse schon mehrfach eine streng periodische und deshalb ruckweise Wasserführung angenommen wurde, so vermag die morphometrische Schotteranalyse für diese Annahme eine wertvolle Stütze, wenn nicht sogar einen Beweis zu liefern.

Derart weitgreifende Schlußfolgerungen aus den Morphogrammen gewinnen natürlich ihre Sicherheit erst, wenn sich an weiteren Morphogrammreihen periglazial-fluviatiler Ablagerungen eine Entwicklung zum gleichen oder doch nahe verwandten reifen Morphogramm nachweisen läßt. Diesem Zweck dient die Morphogrammreihe Abb. 6 II (Mariental), die letzte, die hier behandelt werden soll. Sie gilt für Quarzit und durchläuft einen würmeiszeitlichen Schotterkörper, der im allerobersten Talstück in einen Mulden-Wanderschutt übergeht. Dieser ebenfalls würmeiszeitliche Wanderschutt erhielt seine steinigigen Komponenten durch mechanische Verwitterung in den höheren Hangteilen und wird durch Morphogramm Abb. 2d charakterisiert. Die erste Meßstelle im periglazial-fluviatilen Schotterkörper liegt nur 250 m von der Masse dieses Mulden-Wanderschuttes weiter talabwärts. Das hinzugehörige Morphogramm 6 IIa zeigt noch alle wesentlichen Merkmale, die den Morphogrammen des Wanderschuttes eigen sind. Die Eigenschaften, die die

Schotter im solifluidalen Medium erhielten, haben sie also auf dieser kurzen Strecke des Flußtransports noch nicht verlieren können. Aber schon 750 m weiter sind sie in Auswirkung eines raschen Zurundungsprozesses, der sich durch einen Vergleich der Morphogramme *a* und *b* erschließen läßt, völlig verschwunden. Auf dieser Strecke geht die Indexgruppe 0—50 von 48 auf 17% zurück, vermindert sich auch noch die 2. Indexgruppe um einige Prozent, und werden Gruppen mit Indexwerten über 200 neu hinzugefügt. Unterhalb der Meßstelle *b* tritt dann aber schon wieder eine merkliche Verlangsamung des Zurundungsprozesses ein, erkennbar an der Tatsache, daß das um 1 km weiter talabwärts gelegene Morphogramm *c* sich viel weniger von *b* unterscheidet als *b* von dem ihm näher gelegenen Morphogramm *a*. Zwischen *c* und *d* kommt es dann zu annähernd gleichbleibenden Verhältnissen; die Morphogramme dieser beiden wiederum 1 km entfernten Meßstellen weichen kaum noch voneinander ab. Die Morphogrammreihe verdeutlicht, wie andere Morphogrammreihen auch, daß der Zurundungsprozeß in einer homogenen Reihe, um die es sich wieder handelt, am stärksten im ersten etwa 1 bis 2 km langen Teil der Transportstrecke ist, sich dann verlangsamt und schließlich zu einem reifen Morphogramm führt, das sich in diesem Falle, da scharfkantiger und damit hochempfindlicher Schutt aus der Solifluktionsmasse in den fluviatilen Transport gelangte, schon bei etwa 3 km Transportweg einstellt. Dieses reife Morphogramm ist nun jenem der unmittelbar vorher erläuterten Reihe (Abb. 6 IIId) in der Tat außerordentlich ähnlich. Es hat mit ihm gemeinsam eine Häufung der Schotter auf die Indexgruppen 51—200 mit einer Neigung zum Maximum in der 2. bzw. 3. Indexgruppe und damit auch gemeinsam den Ausdruck eines relativ geringen Zurundungsgrades. Die große Ähnlichkeit beider Endmorphogramme erhöht die Wahrscheinlichkeit, daß der periglazial-fluviatile Transport bei morphologisch gleichwertigen oder nahezu gleichwertigen Gesteinen auf einen im Endresultat ziemlich gleichen schwachen Zurundungsgrad, also einen eigenen Typ des reifen Morphogramms hinausläuft.

Werden die hier behandelten fünf Morphogrammreihen fluviatiler Ablagerungen noch einmal rückschauend einem kurzen Vergleich unterworfen, so ergeben sich Übereinstimmungen wie Abweichungen, die beide zu einer Gliederung und Ordnung jener Mannigfaltigkeit von Variationen beitragen, vor die wir uns eingangs gestellt sahen. Lenkt man das Augenmerk auf die homogenen Strecken, die in allen Fällen etwa gleiche Gefällsverhältnisse haben, und beachtet die in der Abfolge der Morphogramme sich ausdrückende Entwicklung und insonderheit das Endergebnis dieser Entwicklung, das jeweils reife Morphogramm, dann heben sich deutlich zwei Gruppen gegeneinander ab, die Morphogrammreihen der Alpentäler, Floitengrund und Zemmgrund, auf der einen Seite (Abb. 5 I und II) und die Morphogrammreihen des Odertals, Marientals und Schweinbachtals auf der anderen Seite (Abb. 6 I, II, III). Beide Gruppen, jede von gut übereinstimmenden Morphogrammreihen gebildet, unterscheiden sich besonders in folgenden Punkten. In der Gruppe der Alpentäler, in der jetztzeitliche Vorgänge erfaßt sind, ist der Zurundungsprozeß anfänglich sehr intensiv, verlangsamt sich aber bald und führt nach 4—5 km zu einem reifen Morphogramm, das einen verhältnismäßig hohen Zurundungsgrad ausdrückt. In der zweiten Gruppe, deren Morpho-

grammreihen würmeiszeitliche periglazial-fluviatile Vorgänge zur Anschauung bringen, ist der Zurundungsprozeß ebenfalls anfänglich intensiv, verlangsamt sich dann auch, aber weniger als in der ersten Gruppe und bringt dabei schon nach rund 3 km Transportweg ein reifes Morphogramm von einem jedoch viel geringeren Zurundungsgrad hervor. Der Unterschied beider Gruppen ist am augenfälligsten zweifellos im Gegensatz der reifen Morphogramme. Effektiv ist aber auch der Unterschied in bezug auf die zur Herausbildung des reifen Morphogramms erforderliche Länge des Transportweges. Dieser Unterschied ist sogar noch größer als obige Zahlen anzeigen, denn in beiden Alpentälern der ersten Gruppe ist es ein fluvio-glazial bereits weit vorgerundetes Schottermaterial, das in den fluviatilen Transport gelangt, so daß ein Teil der Arbeit, die zum Zurundungsgrad des reifen Morphogramms führt, schon vorgeleistet ist. Hätte dagegen auch in diesen Tälern am Anfang des fluviatilen Transports das Schottermaterial denselben geringen Zurundungsgrad wie in den Tälern der zweiten Gruppe, dann würde zum Erreichen des reifen Morphogramms eine entsprechende Mehrarbeit, also ein entsprechend längerer Transportweg nötig gewesen sein, nicht 4, sondern mindestens 6, vielleicht auch 8 km im ganzen. Auch dieser Unterschied des zum reifen Morphogramm erforderlichen Transportweges, 6—8 km auf der einen und nur 3 km auf der anderen Seite, trennt also die beiden Gruppen sehr scharf und läßt, ebenso wie der unterschiedliche Zurundungsgrad des reifen Morphogramms, sehr verschiedenartige Wasserführung als Hauptursache der Gegensätze vermuten. Man kann dem ganzen Sachverhalt kaum anders gerecht werden als dadurch, daß man — wie oben schon angedeutet — die Gruppen als Hinweis wertet auf das wirkliche Bestehen von vornehmlich klimatischen Untertypen der fluviatilen Schotterzurundung oder Schotterformung, wobei man den einen der hier demonstrierten Fälle als den Untertyp des Hochgebirgsklimas gemäßigter Breiten und den andern als den Untertyp des würmeiszeitlichen Periglazialklimas Mitteleuropas bezeichnen darf. Mit diesem Ergebnis stimmen wir durchaus der von A. Cailleux und J. Tricart ausgesprochenen Möglichkeit zu, die Feststellungen der morphometrischen Schotteranalyse fluviatiler Ablagerungen einmal mit dem Klimasystem in Einklang zu bringen. Der Weg dahin ist allerdings noch weit und erfordert ein hohes Maß subtilster Kleinarbeit.

Die Rückschau lenkt die Aufmerksamkeit noch auf einen anderen lehrreichen Unterschied, der allerdings an Hand der hier gebotenen Unterlagen nur an den Morphogrammreihen der periglazial-fluviatilen Ablagerungen abgelesen werden kann. Die reifen Morphogramme aus dem Mariental, Schweinbachtal und Odertal (Abb. 6 II, III, I) zeigen einen in dieser Reihenfolge von Morphogramm zu Morphogramm wachsenden Zurundungsgrad. Die Unterschiede sind nicht so groß, daß durch sie die Zusammengehörigkeit zu einem Typ gesprengt würde; sie sind aber reell vorhanden und gewiß nicht zufällig, indem sie ja auch die vollständigen Morphogrammreihen durchziehen. Diesem feingraduellen Unterschied parallel laufen bezeichnenderweise Unterschiede des Gesteins. Von den drei Beispielen bezieht sich das Endmorphogramm geringsten Zurundungsgrades auf den überaus harten Quarzit des Harzes, das Morphogramm mittleren Zurundungsgrades auf sehr kompakten festen Kalk, und das Morphogramm höchsten Zurundungsgrades auf Granit. Ganz ähn-

liche, auf die Morphogramme auch nur graduell wirksam werdende Einflüsse des Gesteins haben wir bereits oben bei Messungen an solifluidalen und moränischen Geschieben gehabt. Zu solchen Messungen werden nun freilich nur Gesteine verwendet, die überhaupt einen längeren Transport überdauern und als feste, meßbare Komponenten in die Ablagerung eingehen können. Die Betrachtung auf diese Gesteine eingeengt, lehren die dargebotenen Morphogrammreihen wie auch alle unsere sonstigen Messungen, daß der Typ reifer Morphogramme vom Medium und seiner Eigenart, d. h. im Falle des fließenden Wassers besonders von der Art der Wasserführung bestimmt wird, während das Gestein nur feinere Variationen innerhalb des Typs bzw. Untertyps schafft. Diese Erfahrung bedarf aber der Ergänzung durch weitere Messungen und zwar besonders durch solche an Schottern weniger widerstandsfähiger Gesteine, als wir sie zu Reihenmessungen verwandt haben.

### **Schluß: Anwendungsmöglichkeiten in der Morphologie**

Es bedarf kaum noch weiterer Ausführungen, den Wert darzulegen, den die morphometrische Schotteranalyse trotz des zur Zeit noch notwendigen Verzichts auf Abplattungsuntersuchungen auch für die Geomorphologie haben kann. Voraussetzung ist nur eine für die Geomorphologie auch zweckentsprechende Anwendung dieser Arbeitsweise. Dazu gehört die Anlage von Morphogrammreihen und Historiogrammen von möglichst noch größerer Länge, als wir sie haben bieten können. Mit ihrer Hilfe wird erst die morphometrische zu einer morphologischen Schotteranalyse ausgebaut und der Weg für genetische Betrachtungen frei gemacht, damit der Einblick in die Vorgänge und Bedingungen vertieft.

Was die Anwendungsmöglichkeiten der Methode auf geomorphologische Probleme betrifft, so haben die Erörterung der einzelnen Morphogrammreihen und ihr Vergleich bereits ihrer viele sichtbar gemacht. Das Studium der Zurundung der Schotter und Geschiebe, gestützt auf längsprofilweise angeordnete Meßstellen in den Ablagerungen verschiedener Medien, verspricht nicht nur vertieftes Eindringen in die Vorgänge der Denudation, Erosion und Akkumulation im allgemeinen, sondern bei Ausdehnung der Studien auf die verschiedensten Klimagebiete auch eine verfeinerte Erfassung der klimatisch-morphologischen Kräfte und ihrer Wirkungen und damit die Aussicht auf eine noch bessere Begrenzung der klimatisch-morphologischen Kräftebereiche, als sie durch die Formen- und Massenbeobachtung allein erreicht werden kann. Das systematisch auf Längsprofilen angesetzte Studium der Schotterzurundung gewährt aber auch eine verfeinerte Bestimmung der unterschiedlichen Widerstandsfähigkeit der Gesteine gegen mechanische Beanspruchung. Keine der bisherigen Methoden zur Bestimmung der morphologischen Wertigkeit der Gesteine ist den Bedürfnissen der morphologischen Forschung so gemäß wie die vergleichende morphometrische und morphologische Schotteranalyse. Die Abb. 3a—d, deren Soliflukts-Morphogramme bei nahezu gleichem Transportweg feingraduelle Abweichungen aufweisen, die nur gesteinsbedingt sind, und die obigen Ausführungen über den Einfluß des Gesteins auf den Zurundungsgrad in fluviatilen Medium sind sprechende Beispiele. Die Forschung steht noch ganz in den Anfängen und ist noch weit entfernt von einer Über-



sicht über die Systeme der klima-, relief- und gesteinsbedingten Schotterformen. Aber der Weg dahin wird durch die einschlägigen französischen Arbeiten<sup>1-9) 12) 13)</sup> und die eigenen Studien<sup>10) 11)</sup> erkennbar und ebenso auch der dabei zu erwartende Gewinn für die Morphologie, so daß die weitere Pflege und Anwendung der Methode auch auf dieses Ziel hin nur zu wünschen ist.

### Zusammenfassung

Die Verfasser haben im Zusammenhang mit klimatisch-morphologischen Untersuchungen in Teilen der deutschen Mittelgebirge und in den Alpen in Ergänzung zur allgemeinen Beobachtung der Formen und ihres Aufbaus auch die von A. Cailleux vorgeschlagene Methode der morphometrischen Schotteranalyse zur Anwendung gebracht. Die Erfahrungen, die sie mit dieser neuartigen und inzwischen viel beachteten Arbeitsweise gewinnen konnten, sind in dieser Veröffentlichung auswahlweise zusammengestellt. Sie stützen sich auf insgesamt 68 Messungen zu 100 Schottern, angestellt in genetisch verschiedenen Ablagerungen und bezogen auf verschiedenes Gestein. Der von Cailleux vorgeschlagene Abplattungs-Index (*Indice d'applatissement*) erweist sich als unzureichend und ist schon in seinen theoretischen Grundlagen nicht einwandfrei. Der Zurundungs-Index (*Indice d'émoussé*), der das morphologisch wichtigste Formenelement eines Schotters fixiert, bewährt sich dagegen bestens. Seine Anwendung und Darstellung wird durch Anordnung der Meßstellen zu Längsprofilen und durch Wiedergabe der Meßergebnisse in Morphogrammreihen und Historiogrammen erweitert und damit die Methode von einer nur morphometrischen zu einer auch morphologischen Schotteranalyse fortgeführt. Die Möglichkeiten des Einblicks in den Prozeß der Schotterzurundung und seine Bedingungen werden damit wesentlich vergrößert. Die einzelnen Morphogrammreihen lassen für homogene Strecken in jedem Medium die Entwicklung zu einem reifen Zurundungsgrad erkennen. Die Morphogramme und Morphogrammreihen als Ausdruck von Zustand und Entwicklung sowie das reife Morphogramm als Ausdruck des reifen Zurundungsgrades sind von Medium zu Medium prinzipiell verschieden und, wie besonders an fluviatilen Ablagerungen erkannt werden konnte, auch verschieden nach den Klimaeinflüssen. Damit wird die Aufstellung von Typen und Untertypen möglich, innerhalb deren Variationen vorkommen, die teils durch die Gesteinsart der Schotter, teils durch das Relief (Gefällsänderungen usw.) verursacht werden. Es eröffnet sich damit die Möglichkeit, für jedes Transportmedium zu einem System der klima-, gesteins- und reliefbedingten Schotterformen zu gelangen. Daraus resultieren weite Anwendungsmöglichkeiten der Methode auch für die Geomorphologie, die im Schlußabschnitt der Arbeit angedeutet wurden.

### Literatur

- 1) Berthois, L., *Méthode d'étude des galets. Applications à l'étude de l'évolution des galets marins actuels.* Rev. Géom. Dyn., I, 1950.
- 2) Bouillet, G., et A. Cailleux, *L'indice d'émoussé des silex.* C. R. Somm. Soc. Géol. France 1948.
- 3) Bouillet, G. et A. Cailleux, *L'indice d'émoussé des galets de quartz.* Ibid. 1949.

- 4) Bouillet, G. et A. Cailleux, L'indice d'éroussé des galets de gneiss. Ibid. 1949.
- 5) Bouillet, G. et A. Cailleux, L'indice d'éroussé des roches volcaniques compactes. Ibid. 1949.
- 6) Cailleux, A., Distinction des galets marins et fluviatiles. Bull. Soc. Géol. France, Sér. (5), 15, 1945.
- 7) Cailleux, A., Granulométrie des formations à galets. Sess. Extraord. Soc. Belges Soc. de Géol., 1947.
- 8) Cailleux, A., L'indice d'éroussé: définition et première application. C. R. Somm. Géol. France, 1947.
- 9) Cailleux, A., Morphoskopische Analyse der Geschiebe und Sandkörner und ihre Bedeutung für die Paläoklimatologie. Geol. Rundsch., 1952, S. 40.
- 10) Hövermann, J. u. Poser, H., Morphometrische und morphologische Schotteranalysen. Proc. Third Intern. Congress of Sedimentology Groningen-Wageningen, 1951.
- 11) Poser, H. u. Hövermann, J., Untersuchungen zur pleistozänen Harz-Vergletscherung. Abh. Braunschweig. Wiss. Ges., III, 1951.
- 12) Tricart, J., et Schaeffer, R., L'indice d'éroussé des galets, moyen d'étude des systèmes d'érosions. Rev. Géomorph. Dyn., 1, 1950.
- 13) Tricart, J., Études sur le façonnement des galets marins. Proc. Third Intern. Congress of Sedimentology Groningen-Wageningen, 1951.

Bei der rechnerischen Verarbeitung der dieser Untersuchung zugrunde liegenden Schottermessungen haben die Studierenden der Geographie Frl. U. Jacobs, Herr G. Kunisch und Frl. I. Schmidt wesentliche Hilfe geleistet.